昆虫学报 *Acta Entomologica Sinica*, December 2005, 48(6): 935 - 942　　ISSN 0454-6296

吉林中、西部平原区土壤弹尾虫群落结构的比较

吴东辉[1,2], 张　柏[1*], 陈　鹏[3]

(1.中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春　130012; 2.吉林大学地球科学学院, 长春　130061;
3.东北师范大学城市与环境科学学院, 长春　130024)

摘要: 2003 年 7 月和 9 月对吉林省中、西部平原区天然次生林、农田、居民点园地、防护林和天然割草场等典型生境进行了土壤弹尾虫的调查, 用 Tullgren 法提取弹尾虫, 应用个体密度、类群数量、群落多样性、丰富度和均匀度等指数, 研究土壤弹尾虫群落结构特征, 了解土地利用差异对土壤弹尾虫群落结构的影响。共捕获土壤弹尾虫 2 亚目 8 科 12 属 5 531 头, 优势类群为 *Onychiurus*、*Folsomia*、*Acanthocyrtus*、*Xenylla* 和 *Coloburella* 属, 占总捕获个体数的 90.3%。弹尾虫类群空间分布的广狭与个体数量的多寡在吉林省中、西部平原区呈现出明显的一致性; 中部平原区与西部平原区土壤弹尾虫群落组成差异主要体现在优势类群个体密度方面; 生境类型明显影响弹尾虫个体密度分布, 其中农田、居民点园地和防护林土壤弹尾虫个体密度较低, 在不同土层间分布比较均匀, 但生境差异对弹尾虫类群数的影响不明显; 同时农业生产活动也降低了弹尾虫群落多样性。

关键词: 弹尾虫; 群落结构; 多样性; 空间分布; 生境; 土地利用

中图分类号: Q968　　文献标识码: A　　文章编号: 0454-6296(2005)06-0935-08

Community structure of soil collembolas in the middle and west plains of Jilin province

WU Dong-Hui[1,2], ZHANG Bai[1*], CHEN Peng[3] (1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China; 2. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China; 3. College of Urban and Environmental Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: The soil collembolas in the middle and west plains of Jilin province were investigated with the emphasis on such indices as individual density, number of groups, and community diversity, richness and evenness in relation to the types of land use, *i.e.*, farm garden, farmland, Three-North Forest Shelterbelt, natural secondary forest and natural mowing pasture. The soil collembolas were extracted with Tullgren extractor and identified to the genus level with the aid of microscope. A total of 5 531 soil collembola individuals were captured, which fell into 2 sub-orders, 8 families, and 12 genera. *Onychiurus*, *Folsomia*, *Acanthocyrtus*, *Xenylla* and *Coloburella* were the dominant groups that accounted for 90.3% of the total individuals. A considerable difference in the number of individuals existed between the natural forest and other habitats affected by human activity. The collembolas were distributed evenly in different layers of soil profile in all habitats affected directly by humans for both samples collected in July and September, especially in July. In these habitats affected intensively by farming activity during the summer, more collembolas appeared in soil of the lower stratum. While the strong effects on the group richness were not observed in all habitats. These results suggested that the types of land use affected the species richness and abundance, and human activity had a significant impact on the soil collembola community. The characteristics of collembola community structures in different habitats were analyzed by using different indices, *i.e.*, Shannon-Wiener Index, Marglef index and Pielou index. The agricultural activity reduced the collembola diversity. The difference of the collembolan community composition between the middle plain and the west plain of Jilin province was shown mainly by their difference in the dominant group density in all habitats.

Key words: Collembola; community structure; diversity; spatial distribution; habitats; land use

---

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-19)

作者简介: 吴东辉, 男, 1971 年生, 黑龙江望奎人, 博士, 主要从事土壤动物生态学研究, E-mail: wudhyang@yahoo.com.cn

* **通讯作者** Author for correspondence, E-mail: zhangbai@neigae.ac.cn

收稿日期 Received: 2004-11-30; **接受日期** Accepted: 2005-09-26

弹尾虫在各类土壤中普遍存在，类群和数量丰富，群落生物多样性高，土壤弹尾虫被看作是最重要的评价土壤质量变化的敏感性指示生物之一（Gardi *et al*.，2002；Kuperman *et al*.，2002；Ponge *et al*.，2003）。近年来，国外弹尾虫研究学者加强了农业生产活动对土壤弹尾虫群落动态变化影响的研究（Bandyopadhyaya *et al*.，2002；Filser *et al*.，2002；Petersen，2002；Larsen *et al*.，2004）。我国从 20 世纪 80 年代开始进行土壤弹尾虫生态学方面的研究（张荣祖等，1980；陈鹏和田中真悟，1990），但有关农业土地利用与土壤弹尾虫群落动态变化关系方面的研究报道一直不多（邓晓保等，2003；柯欣等，2004）。

吉林省中、西部平原区分别属温带森林草原和草甸草原地带，是我国重要的农牧业生产基地，近年来由于过度垦殖，平原区土壤生态环境日益恶化，土壤肥力不断下降（孙继敏和刘东生，2001；崔海山等，2003）。本文对吉林省中、西部平原区土壤弹尾虫群落特征进行研究，目的在于了解该区土壤弹尾虫群落组成、生态结构及土地利用差异对土壤弹尾虫群落动态的影响，为保护吉林省中、西部平原区土壤弹尾虫群落多样性和合理利用土壤动物资源，提高景观管理水平，促进土壤生态系统健康发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样地选择

研究区设在吉林省中、西部平原区，属温带大陆性季风气候，降水集中在 6～9 月份。中部平原区年均降水量 500 mm 以上，干燥度 1.0～1.1，原生植被为森林草原，地带性土壤为黑土。西部平原区年均降水量 350～500 mm，干燥度 1.1～1.5，原生植被为草甸草原，地带性土壤为黑钙土。

中部平原区研究样地设在长春市、扶余市、德惠市和公主岭市黑土区，选择典型土地利用类型农田、居民点园地和'三北'防护林调查取样，长春市净月潭天然次生林作为本底对照样地；西部平原区研究样地设在白城市、大安市黑钙土区和长岭县风沙土区，选择典型土地利用类型农田、居民点园地和'三北'防护林调查取样，本底对照样地设在大安市大岗乡姜家甸天然割草场。

因为吉林省中、西部平原区农田主要农作物为玉米，"三北"防护林以杨树纯林为主，因此研究区农田样地设在玉米田，防护林样地设在农田周围的杨树林。中部天然次生林对照样地设在净月潭国家森林公园蒙古栎 *Quercus mongolica* + 紫椴 *Tilia amurensis* 林和杂木林群落，同时因为净月潭人工长白落叶松林 *Larix olgensis* 群落面积较大，保育时间在 30 年以上，1 个调查样地设在长白落叶松林。西部天然割草场对照样地设在姜家甸割草场天然羊草 *Aneurolepidium chinense* 群落。

1.2 样品采集与处理

于 2003 年 7 月、9 月，在研究区 2 次分别对扶余市三岔河镇、德惠市沃皮乡、长春市城西乡、公主岭市南崴子乡、白城市史家屯、大安市大安北镇、大安市大岗乡、长岭县太平川镇农田、防护林和居民点园地以及长春市净月潭国家森林公园天然次生林、人工长白落叶松林和大安市大岗乡姜家甸天然割草场共 10 个采样区 28 个典型样地进行土壤弹尾虫取样。每个样地取样样方作 4 次重复，每个样方面积 10 cm×10 cm，分 0～5 cm、5～10 cm、10～15 cm 3 层采样；此外，净月潭森林群落同时进行凋落物层采样，2 次共取土样 696 个，用 Tullgren 法实验室分离提取土壤弹尾虫（陈鹏，1983；Culik *et al*.，2002；Eaton *et al*.，2004）。弹尾虫标本依据《中国土壤动物检索图鉴》（尹文英，1998）鉴定，一般鉴定到属，同时统计个体数量。

1.3 数据分析与处理

群落多样性分析：运用 Shannon-Wiener 多样性（H'）指数（Alvarez *et al*.，2001；柯欣等，2001；王宗英等，2001；Addison *et al*.，2003）。公式如下：

多样性指数 $$H' = -\sum_{i=1}^{s} P_i \ln P_i \quad (1)$$

式中 P_i 为土壤弹尾虫群落第 i 类群个体数占总个体数的比率；S 为土壤中所有弹尾虫类群数，以下同。

同时计算 Margalef 丰富度（SR）指数和 Pielou 均匀度（J'）指数。公式如下：

丰富度指数 $$SR = (S-1)/\ln N \quad (2)$$

式中 N 为土壤弹尾虫群落全部类群的个体总数。

均匀度指数 $$J' = H'/\ln S \quad (3)$$

群落相似性分析：采用 Bray-Curtis 距离指数计算两个生境间土壤弹尾虫群落的相似性（Pflug and Wolters，2002）。公式如下：

生境间距离 $$B_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^{m} |x_{ij} - x_{ik}|}{\sum_{i=1}^{m} (x_{ij} + x_{ik})} \quad (4)$$

式中 m 为研究区土壤弹尾虫所有类群数；x_{ij} 为

第 j 个生境第 i 个类群弹尾虫的个体数；x_{ik} 为第 k 个生境第 i 个类群弹尾虫的个体数。

数据统计处理：方差分析由 SPSS 软件完成。

2　结果与分析

2.1　土壤弹尾虫群落构成

本项研究共捕获土壤弹尾虫 5 531 头，平均个体密度 2 469.2 头/m^2，分别隶属于弹尾目 2 亚目 8 科 12 属（表 1）。其中，中部平原区捕获土壤弹尾虫 12 属共 3 058 头，优势类群为 *Onychiurus*、*Folsomia*、*Acanthocyrtus*、*Xenylla* 和 *Coloburella* 属，占中部总捕获个体数 86.9%；常见类群为 *Papirinus* 和 *Folsomina* 属，共占中部总捕获个体数 12.4%；稀有类群为 *Neanura*、*Podura*、*Neelus*、*Proisotoma* 和 *Pseudanurophorus* 属，仅占中部总捕获个体数的 0.7%。西部平原区共捕获土壤弹尾虫 9 属 2 473 头，优势类群为 *Onychiurus*、*Folsomia*、*Xenylla* 和 *Coloburella* 属，共占西部总捕获个体数的 90.8%；常见类群包括 *Acanthocyrtus* 和 *Papirinus* 属，占西部总捕获个体数的 8.8%；稀有类群为 *Folsomina*、*Podura* 和 *Proisotoma* 属，共占西部总捕获个体数的 0.4%。

表 1　吉林省中、西部平原区土壤弹尾虫的群落构成

Table 1　Composition of soil collembola community in the middle and west plains of Jilin province

属名 Genus	中部平原 Middle plain		西部平原 West plain		合计 Total	
	个体数 Individuals	优势度 Dominance	个体数 Individuals	优势度 Dominance	个体数 Individuals	优势度 Dominance
Onychiurus	430	+ + +	844	+ + +	1 274	+ + +
Folsomia	478	+ + +	753	+ + +	1 231	+ + +
Acanthocyrtus	966	+ + +	92	+ +	1 058	+ + +
Xenylla	461	+ + +	274	+ + +	735	+ + +
Coloburella	322	+ + +	374	+ + +	696	+ + +
Papirinus	217	+ +	125	+ +	342	+ +
Folsomina	163	+ +	3	+	166	+ +
Neanura	13	+	0		13	+
Podura	2	+	6	+	8	+
Neelus	3	+	0		3	+
Proisotoma	1	+	2	+	3	+
Pseudanurophorus	2	+	0		2	+
合计 Total	3 058		2 473		5 531	

“+ + +”为优势类群，个体数占总捕获量的 10%以上 Dominant group，and individuals caught accounting for more than 10% of the total；“+ +”为常见类群，个体数占总捕获量的 1% ~ 10% Frequent group，and individuals accounting for 1% ~ 10% of the total；“+”为稀有类群，个体数占总捕获量的 1%以下 Rare group，and individuals accounting for less than 1% of the total.

2.2　土壤弹尾虫的分布

2.2.1　垂直分布：各生境土壤剖面弹尾虫个体密度总体上随土壤深度增加而递减（表 2），但不同月份和不同生境递减幅度不同。其中中部天然次生林（MSF）凋落物层弹尾虫个体密度远大于其他土壤层，具有明显表聚性；中部防护林（MFS）、西部防护林（WFS）生境弹尾虫个体密度表聚性也相当明显，0 ~ 5 cm土壤层弹尾虫个体密度占整个土壤剖面 50% 以上；中部农田（MFL）、中部居民点园地（MFY）、西部天然割草场（WMP）、西部农田（WFL）和西部居民点园地（WFY）土壤层次间的弹尾虫个体密度相差幅度小于中部天然林和中、西部防护林，但仍然表现出一定表聚性。弹尾虫类群数在各生境土壤层次间垂直分布比较均匀，表聚性不明显。

不同生境间个体密度在月份间变化差异明显，中、西部居民点园地的各土壤层弹尾虫个体密度 9 月份均有所下降，西部各土层的下降幅度更大；9 月份中部天然林凋落物层、防护林 0 ~ 5 cm 土壤层、农田 0 ~ 5 cm 和 5 ~ 10 cm 土壤层以及西部农田 5 ~ 10 cm 等 5 个层次的弹尾虫个体密度有不同程度下降（表 2），其他不同土壤层中的弹尾虫个体密度 9 月份普遍高于 7 月份。9 月份弹尾虫整体分布趋势为个体向土壤剖面下层移动，9 月份中西部平均气温和土壤剖面平均温度普遍下降，其中土壤剖面温差 7 月份西部为 1.7℃、中部 3. 5℃，而 9 月份西部为 1.0℃、中部为 2.3℃，环境温度变化可能是弹尾虫个体下移的主要原因（王宗英等，2001）。弹尾虫类群数土壤剖面垂直分布变化不大，7 ~ 9 月份间环境温度变化对类群数分布影响不明显。

表 **2**　吉林省中、西部平原区土壤弹尾虫的垂直分布

Table 2　The vertical distribution of soil collembolas in the middle and west plains of Jilin province

生境 Habitats	**7 月** Jul.				**9 月** Sep.				**合计** Total			
	Litter	0 – 5 cm	5 – 10 cm	10 – 15 cm	Litter	0 – 5 cm	5 – 10 cm	10 – 15 cm	Litter	0 – 5 cm	5 – 10 cm	10 – 15 cm
GN (ID)												
中部平原 Middle plain												
MSF	9(4 992)	7(1 500)	6(342)	5(167)	6(4 958)	6(842)	6(467)	6(442)	9(4 975)	7(1 171)	8(405)	7(305)
MFS		7(650)	7(338)	8(169)		8(763)	6(350)	6(281)		8(707)	7(344)	8(225)
MFY		7(1 113)	8(756)	8(494)		6(581)	7(531)	7(169)		7(847)	8(644)	8(332)
MFL		9(756)	7(369)	8(319)		5(456)	7(312)	7(425)		9(606)	7(341)	8(372)
西部平原 West plain												
WMP		3(525)	5(950)	3(125)		4(8 000)	3(3 725)	2(750)		5(4 263)	6(2 338)	3(438)
WFS		6(1 369)	2(38)	6(69)		6(956)	5(125)	6(138)		6(1 163)	5(82)	7(104)
WFY		7(2 225)	5(1 600)	6(1 706)		6(931)	6(388)	6(556)		7(1 578)	6(994)	6(1 131)
WFL		7(144)	3(750)	5(188)		6(281)	6(150)	6(325)		9(213)	6(450)	6(257)

MSF：**中部天然次生林** Natural secondary forest in the middle plain；MFS：**中部'三北'防护林** Three-North Forest Shelterbelt in the middle plain；MFY：**中部居民点园地** Farmyard in the middle plain；MFL：**中部农田** Farmland in the middle plain；WMP：**西部天然割草场** Natural mowing pasture in the west plain；WFS：**西部'三北'防护林** Three-North Forest Shelterbelt in the west plain；WFY：**西部居民点园地** Farmyard in the west plain；WFL：**西部农田** Farmland in the west plain；**下同** The same for the following tables and figures. **括号外为属数，括号内为个体密度（头**/m^2**）** Outside the brackets are the genus number, and inside the brackets are the individual density (ind./m^2)

2.2.2　水平结构：通过对所获土壤弹尾虫个体密度和类群数进行方差分析，表明生境差异对弹尾虫群落个体密度和类群数均具有非常显著的影响，而月份变化对弹尾虫群落个体密度和类群数影响很小，差异不明显（表 3）。图 1 表明，各生境弹尾虫群落个体密度差异主要存在于中部天然次生林与其他受人类生产活动影响的生境之间，类群数差异主要存在于中部平原区与西部平原区之间。

表 **3**　不同生境和月份土壤弹尾虫群落结构的的差异

Table 3　Differences of community structure of soil collembolas in different habitats and months

	属数 Genus number		**个体密度** Density		**丰富度** Group richness (*SR*)		**多样性** Diversity (*H′*)		**均匀度** Evenness (*J′*)	
	F	*P*	*F*	*P*	*F*	*P*	*F*	*P*	*F*	*P*
生境 Habitats	3.943	< 0.01	29.081	< 0.01	3.011	< 0.01	4.755	< 0.01	4.327	< 0.01
月份 Months	0.163	> 0.05	1.752	> 0.05	0.001	> 0.05	0.126	> 0.05	1.372	> 0.05
交互作用 Interaction	0.895	> 0.05	16.778	< 0.01	1.447	> 0.05	2.273	<0.05	3.068	< 0.01

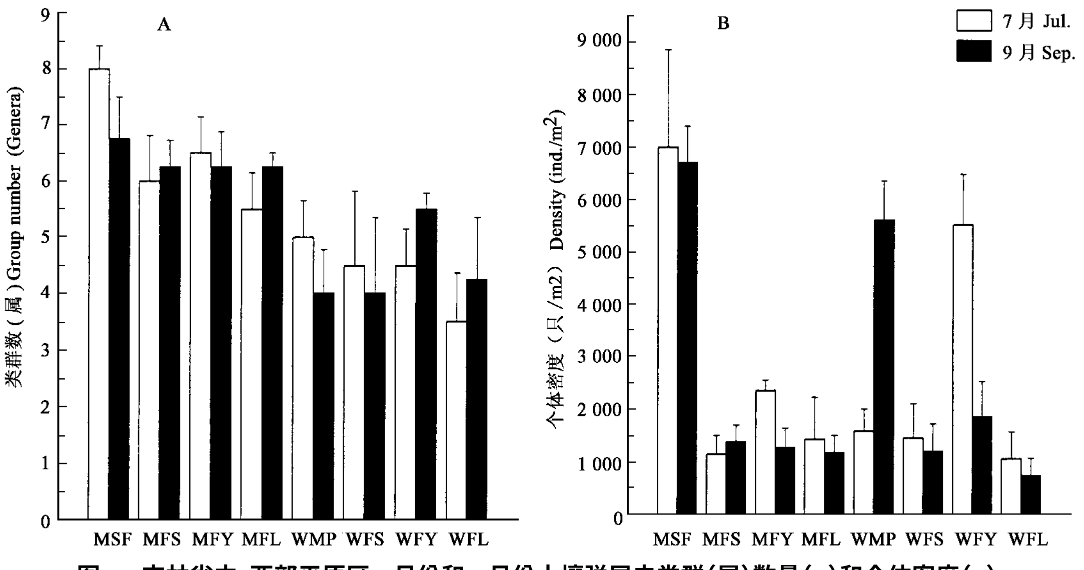

图 1　吉林省中、西部平原区 7 月份和 9 月份土壤弹尾虫类群（属）数量（A）和个体密度（B）

Fig. 1　Group number (A) and individual density (B) of soil collembolas in July and September in the middle and west plains of Jilin province

图中数据是平均值 ± 标准误 Data in the figures are mean ± *SE*

2.2.3　土壤弹尾虫群落多样性：各生境 H' 指数，7 月中部天然林 > 居民点园地 > 防护林 > 农田，西部天然割草场 > 防护林 > 农田 > 居民点园地；9 月中部农田 > 居民点园地 > 防护林 > 天然林，西部居民点园地 > 农田 > 防护林 > 天然割草场；月份间变化，各生境 H' 指数 9 月中部天然林和天然割草场均有大幅下降，中、西部农田和西部居民点园地升高，西部居民点园地升幅最大（表 4）。

各生境弹尾虫类群丰富度，7 月中部防护林 > 天然林 > 农田 > 居民点园地，西部防护林 > 天然割草场 > 居民点园地 > 农田；9 月中部农田 > 防护林 > 居民点园地 > 天然林，西部居民点园地 > 农田 > 防护林 > 天然割草场；月份间变化，各生境 SR 指数中部除天然林下降外，其余生境升高，西部天然割草场、防护林下降，居民点园地和农田指数值有一定升高（表 4）。

各生境均匀度 J' 指数，7 月中部农田 > 防护林 > 居民点园地 > 天然林，西部防护林 > 天然割草场 > 农田 > 居民点园地；9 月中部农田 > 居民点园地 > 防护林 > 天然林，西部居民点园地 > 农田 > 防护林 > 天然割草场；月份间变化，各生境 J' 指数 9 月中部天然林、防护林和西部天然割草场、防护林有不同程度的下降，中西部居民点园地、农田普遍升高，西部生境升幅较大（表 4）。

表 **4**　吉林省中、西部平原区土壤弹尾虫群落多样性

Table 4　Diversity of soil collembolan in the middle and west plains of Jilin province

生境 Habitats	多样性 Diversity（H'）		均匀度 Evenness（J'）		丰富度 Group richness（SR）	
	7 月 Jul.	9 月 Sep.	7 月 Jul.	9 月 Sep.	7 月 Jul.	9 月 Sep.
中部平原 Middle plain						
MSF	0.70 ± 0.01	0.49 ± 0.02	0.77 ± 0.01	0.63 ± 0.02	2.99 ± 0.12	2.07 ± 0.04
MFS	0.63 ± 0.06	0.57 ± 0.04	0.82 ± 0.03	0.71 ± 0.06	3.14 ± 0.44	3.22 ± 0.32
MFY	0.64 ± 0.06	0.61 ± 0.08	0.81 ± 0.04	0.83 ± 0.03	2.91 ± 0.37	3.06 ± 0.34
MFL	0.61 ± 0.03	0.69 ± 0.03	0.84 ± 0.05	0.86 ± 0.03	2.92 ± 0.33	3.36 ± 0.49
西部平原 West plain						
WMP	0.44 ± 0.08	0.17 ± 0.06	0.63 ± 0.07	0.13 ± 0.00	2.25 ± 0.13	1.17 ± 0.11
WFS	0.42 ± 0.15	0.40 ± 0.15	0.68 ± 0.17	0.54 ± 0.20	2.33 ± 0.87	1.84 ± 0.64
WFY	0.28 ± 0.05	0.58 ± 0.06	0.44 ± 0.05	0.78 ± 0.07	1.63 ± 0.29	2.92 ± 0.64
WFL	0.34 ± 0.12	0.45 ± 0.16	0.52 ± 0.18	0.62 ± 0.21	1.61 ± 0.60	2.18 ± 0.76

2.3　土壤弹尾虫群落相似性

各生境群落组成成分的差异，不仅反映在群落类群组成差异方面，也反映在相同类群个体密度差异方面。Bray-Curtis 距离指数表明中部天然林土壤弹尾虫群落与其他受农业活动影响的生境差异明显，农田、居民点园地和防护林间土壤弹尾虫群落组成相似性较大。生境群落相似性同时存在季节波动，农田、居民点园地和防护林 3 个生境间 9 月群落相似性距离普遍小于 7 月，与天然林和天然割草场间的相似性距离 9 月多数大于 7 月（表 5）。上述结果表明 7 月农业活动强度差异使农田、居民点园地和防护林生境弹尾虫群落组成减少的同时，又使 3 类群落产生了较大差异，经过一段时间恢复，9 月 3 类生境差异缩小，与天然林和天然割草场的群落组成相似性距离却进一步加大，原因需要进一步研究。

表 **5**　吉林中、西部平原区生境间弹尾虫群落的 **Bray-Curtis** 指数

Table 5　Bray-Curtis index of soil collembola between different habitats in the middle and west plains of Jilin province

	MSF		MFS		MFY		MFL		WMP		WFS		WFY	
	7 月 Jul.	9 月 Sep.	7 月 Jul.	9 月 Sep.	7 月 Jul.	9 月 Sep.	7 月 Jul.	9 月 Sep.	7 月 Jul.	9 月 Sep.	7 月 Jul.	9 月 Sep.	7 月 Jul.	9 月 Sep.
MFS	0.67	0.64												
MFY	0.56	0.68	0.50	0.21										
MFL	0.69	0.70	0.35	0.23	0.34	0.27								
WMP	0.61	0.78	0.61	0.85	0.28	0.86	0.42	0.85						
WFS	0.56	0.80	0.59	0.35	0.65	0.52	0.54	0.37	0.53	0.91				
WFY	0.47	0.74	0.81	0.50	0.59	0.42	0.69	0.43	0.55	0.92	0.69	0.46		
WFL	0.80	0.74	0.54	0.45	0.42	0.49	0.19	0.42	0.45	0.85	0.64	0.50	0.74	0.60

3 讨论

吉林省中、西部平原区土壤弹尾虫优势类群为 *Onychiurus*、*Folsomia*、*Acanthocyrtus*、*Xenylla* 和 *Coloburella* 属，占全部总捕获个体数的 90.3%；常见类群为 *Papirinus* 和 *Folsomina* 属，共占中、西部总捕获个体数的 9.2%；稀有类群为 *Neanura*、*Podura*、*Neelus*、*Proisotoma* 和 *Pseudanurophorus* 属，仅占中、西部总捕获个体数的 0.5%，不仅个体数量很少，而且分布的范围也小。上述结果显示弹尾虫各类群空间分布的广狭与个体数量的多寡在吉林省中、西部平原区呈现出明显的一致性。

吉林省中、西部平原区属中温带地区，土壤弹尾虫群落个体密度在 7 月和 9 月间的变化与我国其他温度带的研究成果相比既有相似性，也有差异，海南尖峰岭土壤弹尾虫群落个体密度 7 月 > 9 月（廖崇惠等，2002），九华山 8 月 < 10 月（王宗英等，2001），北京小龙门 7 月 < 9 月（陈国孝和宋大祥，2000），下辽河平原 7 月 < 10 月（柯欣等，2004），长春净月潭 8 月 > 10 月（陈鹏和田中真悟，1990）。吉林省中、西部平原区捕获的土壤弹尾虫类群数与我国其他温度带的研究成果相比也同样存在一定的差异，九华山捕获 10 科 52 属（王宗英等，2001），杭州北高峰捕获 24 种（柯欣等，2001），北京小龙门鉴定出 6 科 11 属（陈国孝和宋大祥，2000），长春净月潭捕获 10 科 54 种（陈鹏和田中真悟，1990），小兴安岭捕获 11 科（殷秀琴等，2003），吉林省中、西部平原区捕获 8 科 12 属。土壤弹尾虫的类群数与个体密度地区间分布没有表现出明显规律性，上述结果表明我国土壤弹尾虫区系研究还需要做大量工作。

农田和居民点园地弹尾虫在土壤剖面不同土层垂直分布比较均匀，这一结果可能与耕作等农业生产活动有关，土壤孔隙的大小和数量影响弹尾虫在垂直土壤剖面上的数量分布（Larsen *et al*.，2004），周期性的耕作活动改变了居民点园地和农田土壤的结构，使土壤更加疏松，有利于弹尾虫向下层土壤运动；而中部天然林和中、西部防护林由于没有耕作影响，剖面下层土壤相对紧实，大型土壤动物活动所形成的土壤孔隙的数量难于和人为耕作相比。耕作活动增加了农田和居民点园地土壤的孔隙数量，造成弹尾虫个体密度在不同生境土壤剖面表聚性具有差异，但耕作活动对弹尾虫类群数量在土壤剖面的垂直分布影响不大。

吉林省中部平原区弹尾虫个体密度略大于西部平原区，中、西部弹尾虫群落个体密度的差别主要反映在群落优势类群方面，西部 *Onychiurus* 和 *Folsomia* 属个体数量大于中部，中部 *Acanthocyrtus*、*Xenylla*、*Papirinus* 和 *Folsomin* 属个体数量大于西部，其中 *Acanthocyrtus* 属个体数量中部远大于西部，达到 10 倍之多。*Onychiurus* 和 *Folsomia* 属主要种都是近地表生存的类群（Maraun *et al*.，2003），*Acanthocyrtus* 属在土壤剖面不同层次均有分布，但主要集中于凋落物层，占整个土壤剖面的 86%，是典型的地表生存类群。

中、西部捕获的 *Onychiurus* 和 *Folsomia* 属个体主要来自天然林和天然割草场，*Acanthocyrtus* 个体主要来自天然林，而天然割草场和天然林没有耕作活动影响，也没有周期性的把凋落物移走的情况发生。Petersen（2002）报道耕作活动引起的土壤的翻动会大大减少地表和近地表弹尾虫的个体数量，Eaton 等（2004）指出地表凋落物被移走将显著减少生境弹尾虫的个体数量。上述分析表明农业活动对土壤弹尾虫群落类群数和个体密度的影响是负面的，农业活动对弹尾虫群落不同类群个体密度的影响不同，它主要是减少营地表和近地表生活的类群的个体数量。

生物多样性是群落生物结构组成的重要指标，反映群落内物种的多少和生态系统食物网的复杂程度，从而反映各生境间的相似性及差异性，各生境土壤弹尾虫群落多样性差异反映了土地利用方式对土壤弹尾虫群落结构有明显影响。作为很少受人类活动影响的中部天然林，土壤环境未受农业活动直接影响，环境条件最优越，在中、西部所有生境中无论弹尾虫类群数还是个体密度都是最高，该生境土壤弹尾虫群落拥有较高的多样性；没有受到耕作等农业生产活动影响的中、西部防护林保持了一定高的多样性，二者均较居民点园地和农田更适合弹尾虫活动；而居民点园地和农田在 7 月耕作、施肥和锄草等生产活动频繁时期，土壤弹尾虫群落的多样性较低，经过一段时间的恢复到 9 月份，农田玉米长高、居民点园地蔬菜成熟使环境质量有所改善，土壤弹尾虫群落多样性保持较高的水平，西部天然割草场由于有周期性的人为割草和养护，尽管它是西部的地带性植被，但弹尾虫群落多样性也依然不高，尤其是 9 月份的割草活动使弹尾虫的多样性降低，尽管它的个体密度很高。土地利用类型差异影响弹尾虫群落结构，上述结果表明，农业生产活动减少了土壤

弹尾虫群落多样性，将降低土壤弹尾虫群落结构的稳定性。

类群数、个体密度、多样性指数以及群落丰富度和均匀度是评价土壤弹尾虫群落结构变化的量化指标，在一定程度上反映群落环境质量状况，可以用来评价土壤质量（柯欣等，2004）。本研究运用类群个体密度的差异可以反映农田、居民点园地生境与天然林的显著差异，但农田和居民点园地之间的差异却难以进一步区分，说明只有对弹尾虫进行更详细的分类研究，才能使弹尾虫作为土壤质量评价指标取得更广泛和深入的应用。此外，进一步研究弹尾虫不同类群的取食策略，研究弹尾虫与其他生物的种间关系及其与周围土壤环境的关系，将是对土壤弹尾虫群落评价指标的有益补充，多指标结合应用，对于科学评价土壤环境质量的变化是必要的。

参考文献（References）

Addison JA，Trofymow JA，Marshall VG，2003. Abundance，species diversity，and community structure of Collembola in successional coastal temperate forests on Vancouver Island，Canada. *Applied Soil Ecology*，24：233–246.

Alvarez T，Frampton GK，Goulson D，2001. Epigeic Collembola in winter wheat under organic，integrated and conventional farm management regime. *Agriculture Ecosystems and Environment*，83：95–110.

Bandyopadhyaya I，Choudhuri DK，Ponge JF，2002. Effects of some physical factors and agricultural practices on Collembola in a multiple cropping programme in West Bengal (India). *European Journal of Soil Biology*，38：111–117.

Chen GX，Song DX，2000. A study on soil animal fauna from warm-temperate zone in Xiaolongmen forest areas，Beijing. *Chinese Biodiversity*，8(1)：88–95. [陈国孝，宋大祥，2000. 暖温带北京小龙门林区土壤动物的研究. 生物多样性，8(1)：88–95]

Chen P，1983. Sampling methods of soil animals. *Chinese Journal of Ecology*，2(2)：46–51. [陈鹏，1983. 土壤动物的采集和调查方法. 生态学杂志. 2(2)：46–51]

Chen P，Tanaka SG，1990. Primary investigation on soil collembola in Jingyuetan region of Changchun. *Acta Entomologica Sinica*，33(2)：219–226. [陈鹏，田中真悟，1990. 长春净月潭地区土壤跳虫的生态分布. 昆虫学报，33(2)：219–226]

Cui HS，Zhang B，Yu L，Zhu JH，He YF，2003. Pattern and change of black soil resources in China. *Resources Science*，25(3)：64–68. [崔海山，张柏，于磊，朱金花，何艳芬，2003. 中国黑土资源分布格局与动态分析. 资源科学，25(3)：64–68]

Culik MP，Souza JL，Ventura JA，2002. Biodiversity of Collembola in tropical agricultural environments of Espírito Santo，Brazil. *Applied Soil Ecology*，21：49–58.

Deng XB，Zhou SQ，Fu XH，Yao TQ，Sheng CY，Bai ZL，2003. The impacts of land use practices on the communities of soil fauna in the Xishuangbanna rainforest，Yunnan，China. *Acta Ecologica Sinica*，23(1)：130–138. [邓晓保，邹寿青，付先惠，姚天全，盛才余，白智林，2003. 西双版纳热带雨林不同土地利用方式对土壤动物个体数量的影响. 生态学报，23(1)：130–138]

Eaton RJ，Barbercheck M，Buford M，2004. Effects of organic matter removal，soil compaction，and vegetation control on Collembolan populations. *Pedobiologia*，48：121–128.

Filser J，Mebes KH，Winter K，2002. Long-term dynamics and interrelationships of soil Collembola and microorganisms in an arable landscape following land use change. *Geoderma*，105：201–221.

Gardi C，Tomaselli M，Parisi V，2002. Soil quality indicators and biodiversity in northern Italian permanent grasslands. *European Journal of Soil Biology*，38：103–110.

Ke X，Liang WY，Yu WT，Xie RD，Weng CL，Yang YM，Yin WY，2004. Community structure and seasonal change of soil micro-arthropodes in the Lower Reaches of Liaohe River Plain under different land utilization. *Chinese Journal of Applied Ecology*，15(4)：600–604. [柯欣，梁文举，宇万太，谢荣栋，翁朝联，杨毅明，尹文英，2004. 下辽河平原不同土地利用方式下土壤微节肢动物群落结构研究. 应用生态学报，15(4)：600–604]

Ke X，Zhao LJ，Yin WY，2001. Succession of collembolan communities during decomposition of leaf litter under the three species of arbores. *Acta Entomologica Sinica*，44(2)：221–226. [柯欣，赵立军，尹文英，2001. 三种乔木落叶分解过程中跳虫群落结构的演替. 昆虫学报，44(2)：221–226]

Kuperman GR，Potapov BM，Sinitzina EA，2002. Precipitation and pollution interaction effect on the abundance of Collembola in hardwood forests in the lower Midwestern United States. *European Journal of Soil Biology*，38：277–280.

Larsen T，Schjønning P，Axelsen J，2004. The impact of soil compaction on euedaphic Collembola. *Applied Soil Ecology*，26：273–281.

Liao CH，Li JX，Yang YP，Zhang ZC，2002. The community of soil animal in tropical rain forest in Jianfengling Mountain，Hainan Island，China：Relationship between seasonal change of community structure and climatic factors. *Acta Ecologica Sinica*，22(11)：1 866–1 872. [廖崇惠，李健雄，杨悦屏，张振才，2002. 海南尖峰岭热带雨林土壤动物群落——群落结构的季节变化及其气候因素. 生态学报，22(11)：1 866–1 872]

Maraun M，Martens H，Migge S，Theenhaus A，Scheu S，2003. Adding to ‘the enigma of soil animal diversity’：fungal feeders and saprophagous soil invertebrates prefer similar food substrates. *European Journal of Soil Biology*，39：85–95.

Petersen H，2002. Effects of non-inverting deep tillage vs. conventional ploughing on collembolan populations in an organic wheat field. *European Journal of Soil Biology*，38：177–180.

Pflug A，Wolters V，2002. Collembola communities along a European transect. *European Journal of Soil Biology*，38：301–304.

Ponge JF，Gillet S，Dubs F，2003. Collembolan communities as bioindicators of land use intensification. *Soil Biology and Biochemistry*，35：813–826.

Sun JM，Liu DS，2001. Desertification in the northeastern China. *Quarternary Science*，21(1)：72–78. [孙继敏，刘东生，2001. 中国东北黑土地的荒漠化危机. 第四纪研究，21(1)：72–78]

Wang ZY，Zhu YH，Lu YC，Nie XZ，Chen JX，Meng WX，Huang C，2001. The ecological distribution of soil Collembola in Jiuhua Mountain. *Acta Ecologica Sinica*，21(7)：1 142 – 1 147. [王宗英，朱永恒，路有成，聂献忠，陈建秀，孟文新，黄诚，2001. 九华山土壤跳虫的生态分布. 生态学报，21(7)：1 142 – 1 147]

Yin XQ，Wu DH，Han XM，2003. Diversity of soil animals community in Xiao Xing-an Mountains. *Scientia Geographica Sinica*，23(3)：316 – 322. [殷秀琴，吴东辉，韩晓梅，2003. 小兴安岭森林土壤动物群落多样性的研究. 地理科学，23(3)：316 – 322]

Yin WY，1998. Pictorial Keys to Soil Animal of China. Beijing：Science Press. 282 – 293，592 – 600. [尹文英，1998. 中国土壤动物检索图鉴. 北京：科学出版社. 282 – 293，592 – 600]

Zhang RZ，Chen P，Yang MX，Zhang TW，1980. Primary investigation of soil animals of forest eco-system in northern slope of Changbai Mountain. *Research of Forest Ecosystem*，(1)：133 – 152. [张荣祖，陈鹏，杨明宪，张庭伟，1980. 长白山北坡森林生态系统土壤动物初步调查. 森林生态系统研究，(1)：133 – 152]

（责任编辑：袁德成）